МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА №3

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ отл.
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

Доцент, кандидат технических наук		И. П. Кректунова

20.12.17

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №10

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ »

По курсу общей физики

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛА

СТУДЕНТКА ГР. №	1732	20.12.2017	В.И. Чапурина

Санкт-Петербург 2017

Протокол измерений

Лабораторная работа № 10.

Определение скорости звука в воздухе

студентки группы 1732 Чапурина В. И.

преподаватель Кректунова И. П.

Параметры приборов

Прибор	предел изм.	цена деления	класс точн.	сист. погрешн.
Линейка	64 см	1 см	–	2 мм
Термометр	52 °C	1 °C	–	0,5 °C
Частотометр (осциллограф)	$99,9 \cdot 10^3$ Гц	10 Гц	–	5 Гц

Результаты измерений

$\nu_1 = 1500$ Гц

	1	2	3	4	5	
lпр (см)	23	47	–	–	–	
lоб (см)	11	35,5	59	–	–	
lср (см)	17	41,25	59	–	–	

$\nu_2 = 2000$ Гц

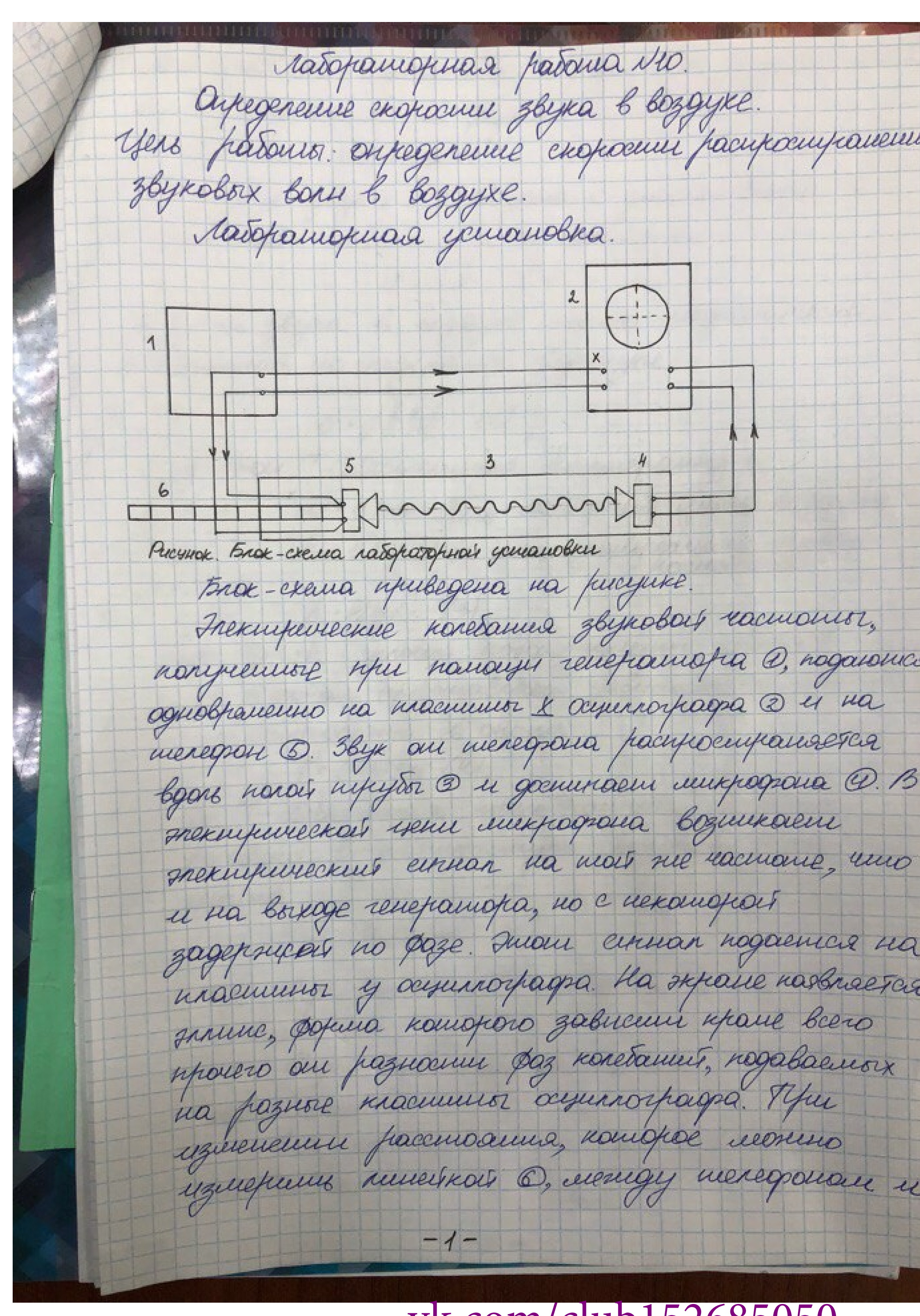
	1	2	3	4	5
lпр (см)	17	35	52	–	–
lоб (см)	9	26,5	43	60	–
lср (см)	13	30,75	47,5	60	–

$t = 19$ °C

Дата 6.12.2017

подпись студента [подпись]

подпись преподавателя [подпись] 06.12.17



Лабораторная работа №10.

Определение скорости звука в воздухе.

Цель работы: определение скорости распространени[я] звуковых волн в воздухе.

Лабораторная установка.

Рисунок. Блок-схема лабораторной установки

Блок-схема приведена на рисунке.

Электрические колебания звуковой частоты, полученные при помощи генератора ①, подаются одновременно на пластины X осциллографа ② и на телефон ⑤. Звук от телефона распространяется вдоль полой трубы ③ и достигает микрофона ④. В электрической цепи микрофона возникает электрический сигнал на той же частоте, что и на выходе генератора, но с некоторой задержкой по фазе. Этот сигнал подается на пластины Y осциллографа. На экране появляется эллипс, форма которого зависит кроме всего прочего от разности фаз колебаний, подаваемых на разные пластины осциллографа. При изменении расстояния, которое можно измерить линейкой ⑥, между телефоном и

микрофоном изменяется разность фаз колебаний, а следовательно, и форма эллипса.

Рабочие формулы.

Скорость звука v связана с длиной волны λ и частотой колебаний ν отношением:

$$v = \lambda \nu \quad (1)$$

Скорость звука в воздухе можно теоретически рассчитать по следующей формуле:

$$v = \sqrt{\frac{7}{5}\frac{RT}{M}} \quad (2),$$

в которой T – абсолютная температура;

$M = 0{,}0291 \frac{кг}{моль}$ – молярная масса воздуха;

$R = 8{,}314$ Дж/К·моль – универсальная газовая постоянная

$$\lambda = 2tg\alpha \quad (3),$$

где $tg\alpha = k$ – угловой коэффициент прямой, которая представляет зависимость $\ell(n)$ наблюдаемую в опыте

$$T = t + 273{,}15 \quad (4),$$

где T – абсолютная температура по шкале Кельвина, t – температура воздуха после опыта

$$\ell_{ср} = \frac{\ell_{пр} + \ell_{об}}{2} \quad (5),$$

где $\ell_{ср}$ – положение телефона в течение опыта, см.,

$\ell_{пр}$ – положение телефона в прямом направлении,

$\ell_{об}$ – положение телефона в обратном направлении

Результаты измерений и вычислений:

при $\nu_1 = 1500$ Гц

n	1	2	3
lпр (см)	23	47	–
lоб (см)	11	35,5	59
lср (см)	17	41,25	59
$\lambda_1 = 23,6$ см		сист. погр. $\Theta\lambda$	0,08 см
$v_1 = 354$ м/с		сист. погр. Θv_1	2,3 м/с

таблица 1

при $\nu_2 = 2000$ Гц

n	1	2	3	4
lпр (см)	17	35	52	–
lоб (см)	9	26,5	43	60
lср (см)	13	30,75	47,5	60
$\lambda_2 = 17,1$ см		сист. погр. $\Theta\lambda_2$	0,06 см	
$v_2 = 342,9$ м/с		сист. погр. Θv_2	2,2 м/с	

таблица 2

$T = 292,15$ K

$v_{теор} = 341,76$ м/с

Примеры вычислений:

на примере значений таблицы 1.

1. $l_{ср_1} = \frac{l_{пр1} + l_{об1}}{2} = \frac{23+11}{2} = 17$ см

2. $\lambda_1 = \frac{2\Delta l}{n} = 2tg\alpha = \frac{2 \cdot 59}{5} = 23,6$ см

3. $v_1 = \lambda_1 \cdot \nu_1 = 23,6 \cdot 1500 = 354$ м/с

4. $v_{теор} = \sqrt{\frac{7 \cdot 8,31 \cdot 292,15}{5 \cdot 0,0291}} = 341,76$ м/с

5. $tg\alpha_1 = \frac{\Delta l}{n} = \frac{59}{2} = 29,5$

6. $T = 273,15 + 19 = 292,15 K$

Вычисление погрешностей:

$\Theta l = 0,2 мм$; $\Theta n = 0$

$\Theta \nu = 5 Гц$

Вывод формулы для систематической погрешности косвенного измерения длины волны

$$\lambda = \frac{2l}{n} \Rightarrow \lambda \sim \left(l; \frac{1}{n}\right) \Rightarrow \Theta\lambda = \lambda\left(\frac{\Theta l}{l} + \frac{\Theta n}{n}\right)$$

Пример вычисления:

$$\Theta\lambda_1 = 23,6\left(\frac{0,2}{59} + 0\right) = 0,08 \text{ см}$$

Вывод формулы погрешности для скорости:

$$\Theta v = v\left(\frac{\Theta\lambda}{\lambda} + \frac{\Theta\nu}{\nu}\right)$$

Пример вычисления:

$$\Theta v_1 = 354 \cdot \left(\frac{0,08}{23,6} + \frac{5}{1500}\right) = 2,3 \text{ м/с}$$

Вывод:

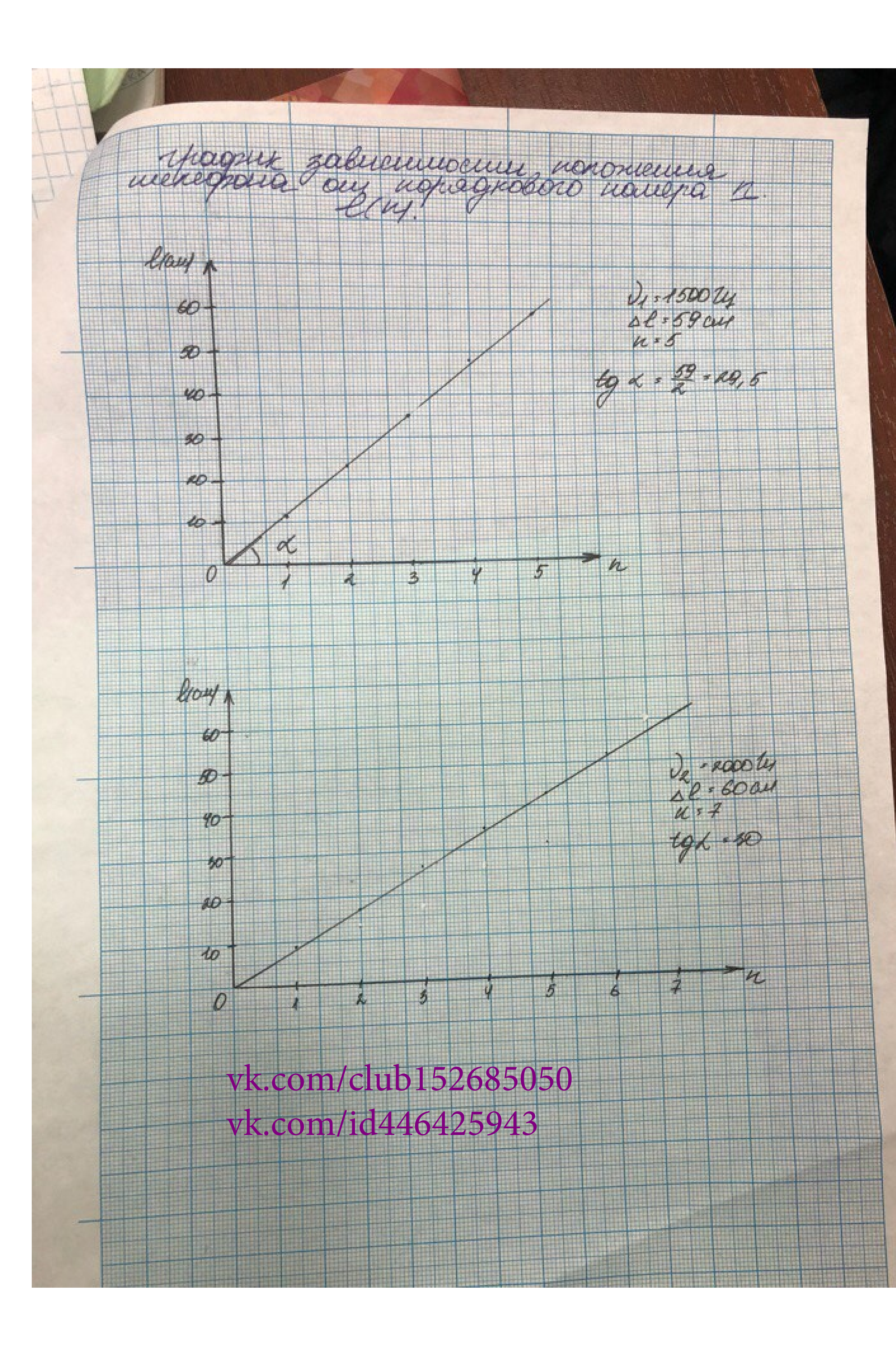
В ходе лабораторной работы научились определять скорость звуковой волны теоретически и практически.

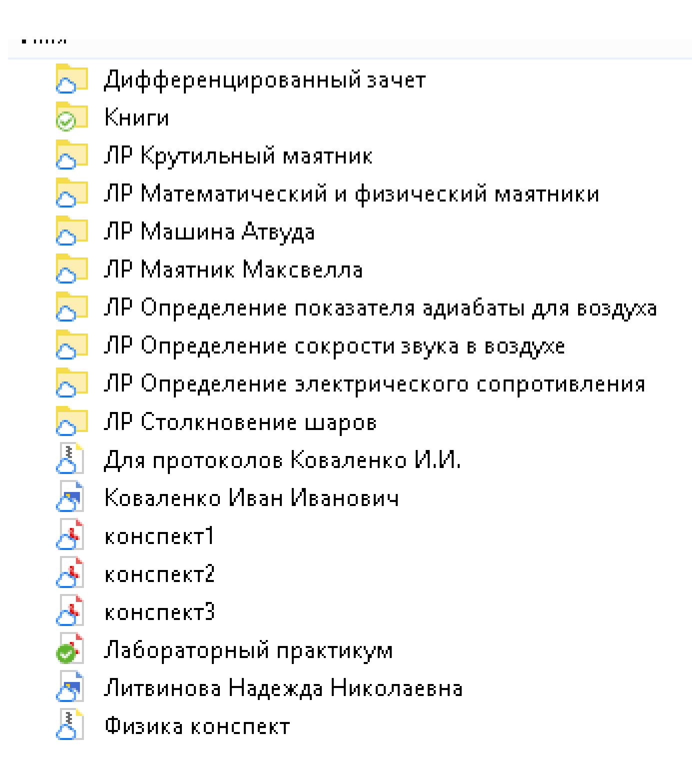
$v_{теор} \approx v_{прак}$; $341,76$ м/с $\approx 342,9$ м/с

$\lambda_1 = 23,6 \pm 0,08$ см

$\lambda_2 = 17,1 \pm 0,06$ см

Все отклонения находятся в пределах допустимых погрешностей.


График зависимости положения микрофона от порядкового номера n.
l(n).
l(см)
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
n
α
ν1 = 1500 Гц
Δl = 59 см
n = 5
tg α = 59/2 = 29,5
l(см)
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
6
7
n
ν2 = 2000 Гц
Δl = 60 см
n = 7
tg α = 10


Дифференцированный зачет
Книги
ЛР Крутильный маятник
ЛР Математический и физический маятники
ЛР Машина Атвуда
ЛР Маятник Максвелла
ЛР Определение показателя адиабаты для воздуха
ЛР Определение сокрости звука в воздухе
ЛР Определение электрического сопротивления
ЛР Столкновение шаров
Для протоколов Коваленко И.И.
Коваленко Иван Иванович
конспект1
конспект2
конспект3
Лабораторный практикум
Литвинова Надежда Николаевна
Физика конспект


ARCHIVE
INTERNET

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ

Цель работы: определение скорости распространения звуковых волн в воздухе.

Теоретические сведения

Звуковые волны представляют собой процесс распространения механических колебаний с частотами в диапазоне от 20 Гц до 20 кГц. Скорость звука υ связана с длиной волны λ и частотой колебаний ν соотношением:

$$\upsilon = \lambda\nu. \quad (10.1)$$

Скорость звука в воздухе можно теоретически рассчитать по формуле

$$\upsilon = \sqrt{\frac{7}{5} \cdot \frac{RT}{M}}, \quad (10.2)$$

в которой T – абсолютная температура; M = 0,0291 кг/моль – молярная масса воздуха; R = 8,314 Дж/К·моль − универсальная газовая постоянная.

Уравнение волны, распространяющейся вдоль оси (ox), имеет вид

$$\xi(x,t) = A\cos(\omega t - kx). \quad (10.3)$$

В этой формуле ξ – смещение точки среды из положения равновесия, находящегося на расстоянии x от источника; ω − циклическая частота колебаний; $k = 2\pi/\lambda$ – волновое число. Фаза колебаний

$$\varphi = \omega t - kx = \frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda} \quad (10.4)$$

зависит от времени и от положения точки. Разность фаз колебаний двух соседних точек зависит только от расстояния Δx между ними

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta x}{\lambda}. \quad (10.5)$$

Таким образом, длину звуковой волны можно найти, измерив на опыте величины Δx и $\Delta\varphi$. Разность фаз колебаний можно определить методом сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний.

Точка, совершающая одновременно два колебания во взаимно перпендикулярных направлениях, движется по замкнутым траекториям, называемым *фигурами Лиссажу*. В случае равенства частот эти фигуры представляют собой эллипсы, форма и ориентация которых зависит от амплитуд и от разности фаз складываемых колебаний.

Рассмотрим два гармонических колебания одинаковой частоты, одно из которых происходит вдоль оси (ox), а другое – вдоль (oy). Для простоты начальную фазу первого колебания положим равной нулю:

$$\begin{aligned} x &= A_1 \cos(\omega t), \\ y &= A_2 \cos(\omega t + \Delta\varphi). \end{aligned} \tag{10.6}$$

Уравнение траектории точки, одновременно участвующей в этих двух колебаниях, найдем, исключив время t из уравнений (10.6):

$$\begin{cases} x/A_1 = \cos\omega t, \\ y/A_2 = \cos\omega t \cos\Delta\varphi - \sin\omega t \sin\Delta\varphi; \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad y/A_2 = (x/A_1)\cos\Delta\varphi - \sin\Delta\varphi\sqrt{1-(x/A_1)^2}; \quad \Rightarrow$$

$$(x/A_1)^2 + (y/A_2)^2 - \frac{2xy\cos\Delta\varphi}{A_1A_2} = \sin^2\Delta\varphi. \tag{10.7}$$

Получилось уравнение наклонного эллипса, ориентация и полуоси которого зависят от амплитуд A_1, A_2 и от разности фаз $\Delta\varphi$ (рис. 10.1, *а*). Если $\Delta\varphi = 2\pi k$, где k – целое число, получим уравнение отрезка прямой, проходящего через 1-й и 3-й квадранты (рис. 10.1, *б*):

$$y = (A_2/A_1)x. \tag{10.8}$$

Если $\Delta\varphi = (2k+1)\pi$, где k – целое число, получим уравнение отрезка прямой, проходящего через 2-й и 4-й квадранты (рис. 10.1, *в*):

$$y = -(A_2/A_1)x. \tag{10.9}$$

Если $\Delta\varphi = (k+0{,}5)\pi$, где k – целое число, получим уравнение эллипса, ориентированного вдоль координатных осей (рис. 10.1, *г*):

$$\left(\frac{x}{A_1}\right)^2 + \left(\frac{y}{A_2}\right)^2 = 1. \tag{10.10}$$

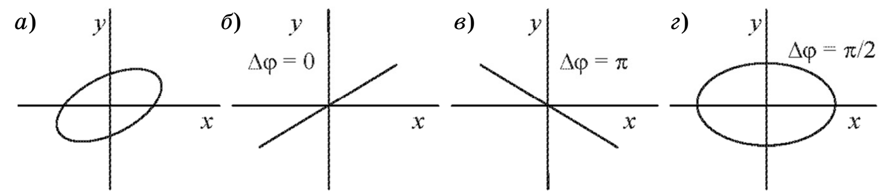


Рис. 10.1. Различные траектории движения точки

Таким образом, по форме наблюдаемого эллипса можно определить разность фаз колебаний $\Delta\varphi$. В дальнейшем особый интерес будут представлять случаи *б* и *в*, когда эллипс вырождается в отрезок. Эти случаи удобно наблюдать экспериментально. Существенно, что изменение фазы от одного из них к другому составляет $\Delta\varphi = \pi$.

В настоящей работе звуковой сигнал с телефона попадает на микрофон, находящийся на расстоянии ℓ от него. Сигналы с телефона и с микрофона подаются на отклоняющие пластины x и y электронного осциллографа соответственно. Расстояние ℓ можно изменять и измерять во время эксперимента; вместе с ним, согласно формуле (10.5), меняется и разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний телефона и микрофона. Поскольку по картинке на экране осциллографа можно зафиксировать лишь разности фаз $\Delta\varphi$ кратные π, при которых эллипс вырождается в отрезок, величина $n = \Delta\varphi/\pi$ на опыте должна принимать только целые значения. Она увеличивается на единицу всякий раз, когда при увеличении расстояния ℓ на экране эллипс превращается отрезок.

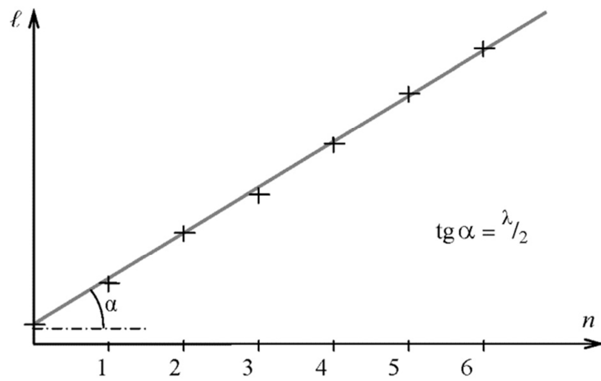


Рис. 10.2. Экспериментальная зависимость ℓ от n

С учетом сказанного формулу (10.5) можно переписать в виде

$$\Delta\ell = \frac{n\lambda}{2}. \qquad (10.11)$$

Зависимость $\ell(n)$ наблюдаемая в опыте (рис.10.2), должна представлять собой прямую линию, по угловому коэффициенту ($k = \mathrm{tg}\alpha$) которой можно найти длину волны λ:

$$\lambda = 2\mathrm{tg}\alpha. \qquad (10.12)$$

Подставив полученное таким способом значение длины волны λ и установленную на звуковом генераторе частоту колебаний в формулу (10.1), можно найти скорость звуковых волн.

Лабораторная установка

Блок-схема лабораторной установки приведена на рис. 10.3.

Электрические колебания звуковой частоты, полученные при помощи генератора 1, подаются одновременно на пластины x осциллографа 2 и на телефон 5. Звук от телефона распространяется вдоль полой трубы 3 и достигает микрофона 4. В электрической цепи микрофона возникает электрический сигнал на той же частоте, что и на выходе генератора, но с некоторой задержкой по фазе. Этот сигнал подается на пластины y осциллографа. На экране появляется эллипс, форма которого зависит кроме всего прочего от разности фаз колебаний, подаваемых на разные пластины осциллографа. При изменении расстояния, которое можно измерить линейкой 6, между телефоном и микрофоном изменяется разность фаз колебаний, а следовательно, и форма эллипса.

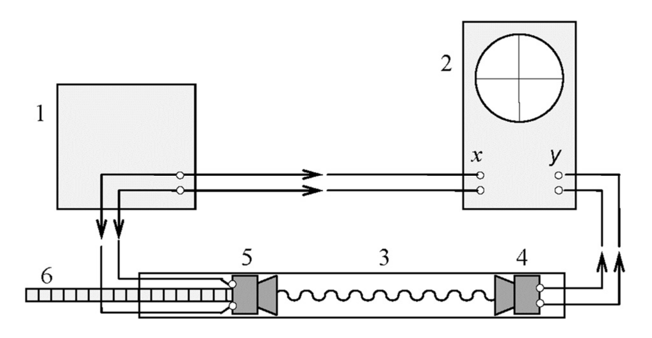


Рис. 10.3. Блок-схема лабораторной установки

Задания и порядок их выполнения

Задание 1. Экспериментальное определение скорости звуковых волн в воздухе.

До начала измерений нужно на 2–5 мин включить для прогрева осциллограф и звуковой генератор.

Задание выполняется в следующем порядке.

Установить заданную частоту колебаний.

Пользуясь ручками настройки осциллографа и изменяя величину выходного напряжения, добиться на экране осциллографа четкого, устойчивого эллипса.

Перемещая телефон по трубе, добиться появления на экране прямой линии. Отметить это положение на шкале как ℓ_1.

Медленно перемещая телефон в ту же сторону, снова получить на экране прямую линию, но уже наклоненную в другую сторону, т. е. проходящую через другие квадранты. Отметить соответствующее положение телефона как ℓ_2.

Повторить предыдущий пункт столько раз, сколько это возможно и получить набор положений телефона ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3, ..., в которых эллипс вырождается в отрезок прямой. Получить еще один такой же набор данных, перемещая телефон в обратном направлении, и усреднить результаты.

Построить график зависимости положения телефона ℓ_n, от порядкового номера n, как это показано на рис. 10.2.

Систематическую погрешность расстояния принять равной $\theta_\ell = 2$ мм. Систематическую погрешность θ_n, связанную с неточностью определения точки вырождения эллипса, не учитывать; $\theta_n = 0$.[1]

Графически найти длину звуковой волны λ и ее систематическую погрешность.

По формуле (10.1) найти скорость звуковых волн.

Повторить измерения для звукового сигнала другой частоты.

Задание 2. Теоретический расчет скорости звуковых волн в воздухе.

Вычисления нужно проводить по формуле (10.2), значения констант, необходимые для расчета, указаны в комментариях к формуле. Для определения температуры воздуха t °C нужно вос-

---

[1] В случае, когда эллипс не полностью вырождается в отрезок, следует считать $\theta_n = 0{,}1$.

пользоваться термометром. Абсолютную температуру T можно найти по формуле:

$$T(\text{К}) = t\ ^\circ\text{C} + 273{,}15\text{К}. \qquad (10.13)$$

Контрольные вопросы

1. Что называется звуковой волной?
2. Чем отличаются волновые процессы от колебательных?
3. Что такое длина волны и чему она равна?
4. Запишите уравнение бегущей волны и поясните смысл всех величин, в нее входящих.
5. От чего зависит фаза волны? Чему равна разность фаз колебаний двух точек?
6. Получите уравнения траектории точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты?
7. В каких случаях траектория вырождается в отрезок?
8. Как определяется длина звуковой волны в данной работе?
9. Как зависит скорость звука от температуры воздуха?